

ESTUDIO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE UNA ESTUFA DE SECADO DE TABACO. SALTA, ARGENTINA.

F. Altobelli¹, M. Condorí, G. Díaz Russo, G. Durán¹.
Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de Salta (UNSa)
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

RESUMEN: En el ambiente industrial, la crisis energética hace necesario que acompañado al empleo de fuentes alternativas de energía se incorpore el análisis y mejora de la eficiencia en el desempeño de los equipos. De esta manera aún cuando sólo pueda plantearse una sustitución parcial, el ahorro global aumenta. En la provincia de Salta el sector tabacalero es una actividad de gran importancia económica y social. Con una producción de 40.000.000kg anuales, la mayoría de este producto es secado con empleo de gas natural. En este trabajo se presentan los resultados de una evaluación energética realizada a una estufa bulk-curing, característica, de las que existen en la provincia. Las mediciones referidas a temperatura, humedad y flujo realizadas brindan indicios sobre los puntos a mejorar para lograr mayor eficiencia. Este es un primer paso hacia la incorporación de energía solar térmica en el proceso.

Palabras clave: desempeño energético, estudio, estufa de tabaco.

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos la crisis energética se ha vuelto moneda corriente a nivel global (United Nations, 2006), Argentina y la provincia de Salta no se encuentran ajena a esto, destacando la necesidad de direccionar las acciones a la disminución del consumo de energía convencional. Partiendo de esta premisa, y acompañando al desarrollo e inserción de fuentes de energía alternativas, renovables y limpias; surge la necesidad de mejorar la eficiencia de los dispositivos industriales actuales (apuntados como de uso energético intensivo). Se entiende ésta como la única vía para sustentar los niveles productivos y de crecimiento en el futuro.

La provincia de Salta, ubicada al noroeste de la República Argentina presenta en la producción tabacalera una de sus principales actividades económicas. Con una producción anual que ronda los 40000000 kg de tabaco curado, requiriendo para ello aproximadamente 40 Mm³ de gas. Según datos de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos, entre las exportaciones salteñas del año 2005, el Tabaco Virginia desnervado fue comercializado por un valor de 63,6 millones de dólares, ubicándose luego del rubro Combustibles (363,8 millones.) y en una posición anterior a la Soja (43,5 millones), situación similar a aquella reportada durante los primeros 8 meses de 2006. Para este nivel de producción son requeridos aproximadamente más de cincuenta mil obreros (Cornejo y Fiore, 2004), denotando la importancia socio-económica de la actividad en la provincia. La localidad de Chicoana, en particular, se posiciona como la principal área en la producción de tabaco tipo “virginia”, dadas las condiciones climáticas y edafológicas que imperan en la zona.

Con respecto al aprovisionamiento energético, existe en toda la zona tabacalera una extensa red de gas natural para el secado de tabaco, a la cual tienen acceso la mayoría de productores. Sin embargo, en los últimos años y dada la escasez de gas que viene aquejando al país, dichos productores han sufrido recortes en el suministro y encarecimientos considerables de sus costos.

El presente trabajo se halla enmarcado en un proyecto de investigación dirigido a lograr una mejora técnica en la eficiencia energética de las estufas de tabaco y la incorporación del uso de energías alternativas. El actual trabajo presenta la evaluación del desempeño actual de una estufa de tabaco, de manera de poder identificar los aspectos susceptibles de optimizarse.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Estufa

La estufa de curado empleada en la medición comprende una estufa de tipo bulk-curing, la misma presenta dos “túneles”, con un ancho total de 3.12m (cada túnel posee 1.5m), un largo de 12m y una altura de aprox. 3.47m, la estructura de la misma está conformada por caños estructurales metálicos de 40mm x 20mm, revestidos en el interior y exterior por chapa ondulada. Tanto las paredes como el techo se encuentran contruidos con dos chapas galvanizadas onduladas, con aislación de lana de vidrio en la parte media. El piso, por su parte, es de tierra, sin ningún tipo de aislación térmica, y tiene una pendiente del

¹ Becario CONICET

orden del 1% hacia la puerta de carga. La parte basal de las paredes y puerta se halla construida con mampostería (construcción de ladrillos y cemento) de una altura de 0.5m.

El abastecimiento energético es proporcionado a través de un quemador de gas natural, el cual se encuentra conectado a un intercambiador de calor indirecto del tipo gas-aire que evita el ingreso a la cámara de secado de los gases provenientes del proceso de combustión, impidiendo la formación de nitrosaminas (Cabe aclarar que en este caso se trata de un requerimiento establecido por los estándares de calidad del producto final, y la Organización Mundial de la Salud con adhesión del gobierno argentino). Al mismo tiempo, el ingreso y la recirculación del aire es llevado a cabo por un ventilador eléctrico centrífugo donde la turbina es alimentada por un motor de 5.5HP que gira a 1400 RPM. Este motor se conecta a la turbina con un sistema de poleas dobles, con una reducción de 30cm a 15cm.

La abertura de entrada de aire caliente a la cámara se ubica en una posición inferior de la pared posterior de la cámara, ocupando 0.5 m. x 1.24 m de superficie. A su vez, en la parte superior de esta misma pared, se encuentra la abertura que permite la recirculación del aire entre la cámara y el intercambiador de calor. Por otro lado, los gases de combustión generados por el quemador son enviados al exterior a través de dos conductos que atraviesan la cámara por la parte interna superior, culminando en dos chimeneas ubicadas por encima de las puertas de entrada de la estufa (Figura 1).

La carga de tabaco se realiza con “peines”, los cuales comprenden estructuras metálicas en forma de U, con una serie de pinches. En estos peines se insertan las hojas de tabaco, los cuales son luego ubicados en las tres hileras de rieles de cada nave de la estufa. La disposición de las hojas debe ser lo más uniforme posible, lo mismo que el cargado de la estufa, de manera de generar una masa homogénea para el secado (Ulivarri, 1990).

El proceso de curado de tabaco consta de cuatro etapas definidas a partir de las reacciones físico-químicas que se suceden y en base a los valores de temperatura y humedad que deben alcanzarse. La primera etapa se denomina “amarillamiento”, comprende la elevación de la temperatura del recinto hasta 35°C, con recirculación de aire, trabajando en un ambiente saturado de humedad. Esto posibilita la oxidación de la clorofila contenida en las hojas dejando xantofilas y carotenos (estos dan a la hoja la coloración amarillenta), y se define como una continuación de la maduración del tabaco en el campo. Paralelamente se suceden otro tipo de reacciones químicas que implican la hidrólisis de azúcares complejos (almidón), la degradación de proteínas, etc. A continuación sigue la etapa de “fijación de color”, en la cual la temperatura se eleva paulatinamente hasta llegar a los 43°C. Ya no se suceden cambios químicos, sino que la eliminación del agua se produce solamente por evaporación. Esta fase es la de mayor importancia porque pueden generarse amarronamientos en el tabaco (bajando su calidad), por la combinación entre altas temperaturas y humedad. Seguidamente ocurre el “secado de lámina”, si bien todo el proceso de curado implica el secado de la lámina foliar, en esta fase la temperatura se va elevando a razón de 2°C por hora hasta alcanzar los 60°C, primando los fenómenos evaporativos. Finalmente el curado concluye con el “secado de nervadura”, donde el objetivo es eliminar toda el agua contenida en la vena principal de la hoja, las temperaturas llegan a 70°C. Previamente a descargar la estufa debe procederse a rehumectar el tabaco, impidiendo de esta manera que se quiebren por el manipuleo de las hojas secas (Eckhardt, 2002 y López Méndez, 2000).

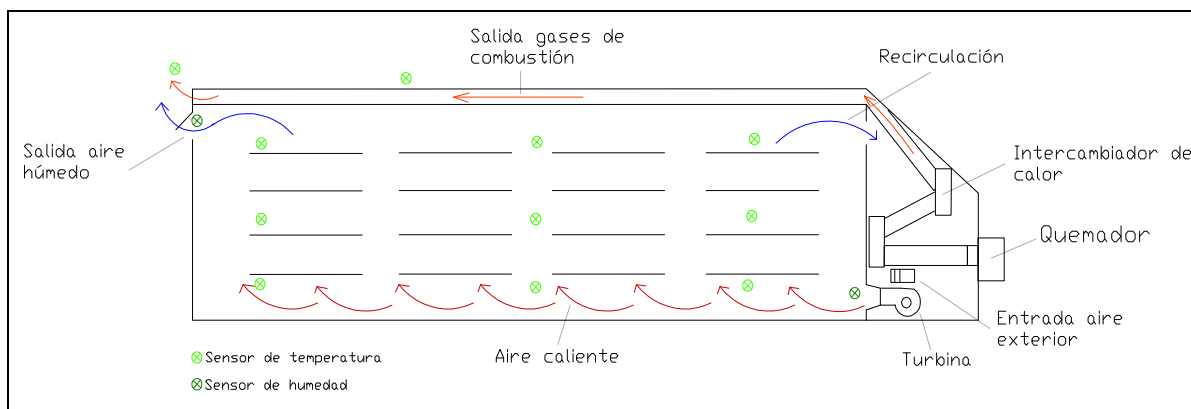


Figura 1- Esquema de funcionamiento de la estufa en vista longitudinal y de los sensores instalados.

Con respecto al consumo energético que involucra el curado, existen datos reportados por Eckhardt (2002), durante un ensayo realizado en estufas bulk-curing ubicadas en la localidad de Perico, provincia de Jujuy, los cuales muestran la duración del secado y el consumo en cada etapa (Tabla 1).

| | Etapas de Secado | | | | |
|---------------------------|------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | Amarillamiento | Fijado de Color | Secado de lámina | Secado de nervadura | Total |
| Tiempo (hs:min) | 45:30:00 | 05:30:00 | 89:00:00 | 24:00:00 | 164:00:00 |
| Consumo (m ³) | 111.09 | 17.41 | 1266.3 | 246.1 | 1640.9 |

Tabla 1: Control de estufado (ensayo).

| | | |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Kgs | Carga (tabaco verde) | 9698.74 kg |
| | Descarga (Tabaco curado) | 1792.69 kg |
| | Agua evaporada | 7906.05 kg |
| Consumo (m ³) | Amarillamiento | 111.09 m ³ |
| | Marchitamiento | 17.41 |
| | Secado lámina | 1266.30 |
| | Secado nervadura | 246.1 |
| | Total de Consumo Real | 1640.90 |
| | m ³ /kg tabaco descargado | 0.915 |

Tabla 2: Consumo de gas por kg de tabaco curado (Eckhardt, cit op).

Si bien en la Tabla 2 se refiere un consumo de 0.915 m³ de gas por kg de tabaco curado para el ensayo realizado por Eckhardt (cit op), por convención generalizada se ha definido un consumo promedio del orden de 1m³ de gas por kg de tabaco. Un dato que conviene destacar es el hecho de que los datos de la experiencia realizada, presentados en la Tabla 1, muestran una relación entre el tiempo de secado y los m³ de gas consumido, de aproximadamente 10m³ por hora. Sin embargo, no es factible generalizar dicha relación, ya que la misma es altamente dependiente del contenido de humedad con el que ingresan las hojas y las condiciones atmosféricas, especialmente la humedad relativa durante el secado. Por experiencia generalizada es que se estima un total de siete días para todo el proceso.



Figura 2- Vista de frente de la estufa bajo estudio, y perspectiva de parque de estufado del establecimiento.

El sistema de medición

En total, se instalaron 14 sensores de medición de temperatura (termocuplas) y 2 de medición de humedad (marca Vaisala, modelo MDP40). Todos estos sensores fueron, a su vez, conectados a un dispositivo de adquisición de datos marca CAMPBELL, (CR23X Micrologger). Dicho dispositivo posee una memoria de estado sólido de 4 Megabytes que permite la toma de aproximadamente 1.000.000 de datos para un tiempo de registro de 1 segundo. Posibilita también la adquisición de 12 señales analógicas y 12 señales digitales como así también el control de procesos mediante emisión de pulsos digitales y señal analógica de 12V. Su autonomía estimada es del orden de 20 días (cubriendo de esta manera el ciclo completo de curado), y la frecuencia de toma de datos fue establecida en 15 minutos. Para ampliar la capacidad de medición de temperaturas se utilizó un multiplexor (CAMPBELL M25T), el mismo posee 25 entradas analógicas para toma de temperatura mediante termocupla y conexión mediante señal digital al datalogger previamente mencionado.

En referencia al registro de humedad, se utilizaron higrómetros de hilo caliente (VAISALA Modelo HM45D). En este caso, debido a las limitaciones del sistema de adquisición de datos, los sensores de humedad fueron configurados como sensores de voltaje diferencial de dos canales, donde el voltaje máximo (1000mV) corresponde a una humedad relativa ambiente de 100%. La señal fue entonces convertida y almacenada de forma tal que el resultado final es la humedad relativa con el cambio de escala correcto.

Registro de temperatura:

Con respecto a la temperatura se emplearon termocuplas tipo K convenientemente calibradas. Su rango de operación se encuentra entre -56°C a 290°C. Estas fueron conectadas al multiplexor. Las mediciones de temperatura dentro de la cámara fueron divididas en tres sectores en sentido longitudinal (ingreso de aire caliente, sector medio, y puerta de salida). A su vez, en cada uno de estos sectores se buscó el registro de posibles variaciones en altura a partir de ubicar en tres lugares distintos, con respecto a la altura, las correspondientes termocuplas (Figura 1).

Por otro parte, fueron colocados sensores para medir la temperatura del aire a la salida del quemador, así como la temperatura de los gases de combustión a la salida de las dos tuberías que funcionan como vías de evacuación. Por último fueron colocadas dos termocuplas para el registro de las condiciones externas imperantes, una en el techo de la estufa, y otra en una de las columnas estructurales próximas al secadero que se toma como temperatura ambiente.

Registro de humedad relativa:

Los sensores de medición de humedad fueron ubicados en la abertura de ingreso de aire caliente a la cámara y en proximidades a las puertas de la estufa, cerca de la ventana superior por la que sale el aire húmedo. Dichos registros permiten evaluar la humedad relativa y específica con que ingresa el aire a la cámara y el valor de estas variables hacia la salida.

Registro de flujos de aire de ingreso

Una vez concluidas las mediciones de humedad y temperatura, se procedió a evaluar el flujo de aire que ingresa a la cámara de secado. Para esto, fue empleado un anemómetro de hilo caliente marca TSI, modelo VELOCICALC8245, realizando las mediciones mientras la estufa se encontraba sin carga. El proceso consistió en la sectorización de la abertura de ingreso, que presenta una forma cuadrada de 50 cm de alto por 124 cm de largo, en tres filas y cuatro columnas, generando un total de doce sectores. Se efectuó entonces el registro de las velocidades de viento en los puntos centrales de cada sector, en un total de cinco repeticiones, variando la abertura de ingreso exterior de aire a la cámara donde se encuentra la turbina (cerrado, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm). Los valores medidos de velocidad fueron multiplicados por el área correspondiente para determinar el flujo de aire en esa pequeña área. Posteriormente los flujos fueron representados para cada nivel de apertura de la ventana externa con el empleo del software Surfer, y el uso del módulo de interpolación lineal y de elaboración de curvas de nivel (contours).

Todos los sensores instalados en la estufa fueron a su vez conectados al datalogger. Dichas conexiones fueron configuradas y se programó el intervalo de registro de datos, mediante el empleo de una laptop y el software provisto por Campbell. Para los fines de este estudio, y dada la longitud del proceso de curado (estufado), se optó por definir intervalos de 15 minutos.

Imágenes termográficas:

Con el empleo de una cámara termográfica marca HORIBA se obtuvieron imágenes de diferentes sectores externos de la estufa, mientras la misma se encontraba en funcionamiento. Dicho dispositivo realiza una toma superpuesta de una fotografía digital adquirida mediante un sensor CCD, con una imagen termográfica obtenida en una grilla de 64bits. Este tipo de imágenes, con su correspondiente escala calorimétrica (derecha de la imagen), permite discriminar las temperaturas en las diferentes porciones de la estufa. La parte inferior de las imágenes muestra el valor de la temperatura a la altura del cursor (Figuras 12 y 13). Con el fin de destacar las diferencias térmicas entre la cámara de la estufa y el ambiente externo, se optó por registrar las imágenes durante el período nocturno.

RESULTADOS

Resultados de las mediciones de temperatura

Los registros de temperatura han sido graficados para la duración total del proceso de curado. A continuación se presentan los valores medidos por los sensores ubicados en la parte baja de la cámara, y en las tres posiciones longitudinales elegidas (Entrada de aire caliente, Medio y Salida) (Figura 4). Dicho gráfico permite apreciar que al iniciarse el secado, la temperatura es aproximadamente homogénea, sin embargo, a medida que se avanza con el proceso y que las temperaturas van elevándose, las curvas se separan, debido al aumento de pérdidas térmicas. A partir del tercer día las diferencias de temperatura se vuelven notorias, siendo siempre mayores las correspondientes a la entrada de aire caliente a la cámara. Al finalizar el secado dicha diferencia es del orden de los 5°C en promedio, con picos de variación de 8°C. Esta situación puede ser explicada por las pérdidas térmicas existentes en el sector basal de la cámara la cual no poseen ningún tipo de aislación, tanto en el piso como en la parte inferior constituido por paredes de mampostería. De esta manera el aire caliente que ingresa a la cámara va perdiendo temperatura a medida que circula por el ducto inferior, conformado por el piso, las paredes laterales y los peines con hojas, hasta llegar a la puerta de la estufa. Lo trascendental de estas divergencias de temperatura se encuentra en el secado irregular de las hojas. Aquellas ubicadas en proximidades del ingreso de aire caliente soportan temperaturas mayores, durante todo el curado, a las instaladas cerca de la puerta. Como resultado de esto pueden aparecer coloraciones marrones en la lámina de las hojas pobremente curadas, y signos de quemado en las que experimentan el exceso de temperatura.

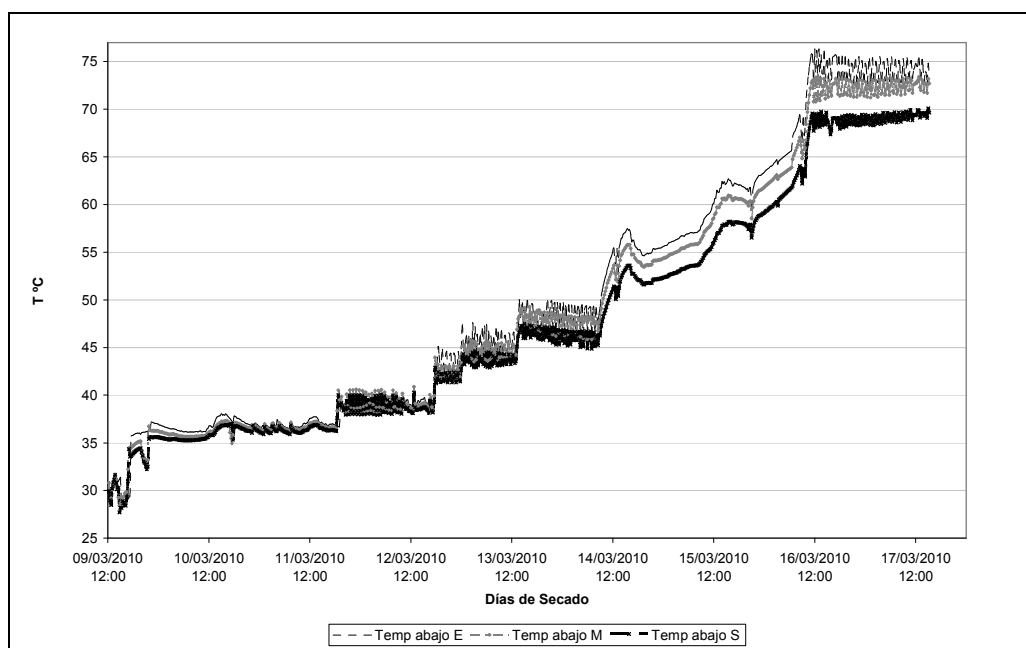


Figura 4: Mediciones térmicas en la parte inferior de la cámara de secado.

En la Figura 5 puede verse como en altura también se producen diferencias de temperatura durante el secado. La curva correspondiente al sector basal de la cámara presenta valores mayores que las otras. Dichas diferencias en etapas iniciales no son mayores a los 2°C, sin embargo, a partir del cuarto día son del orden de 5°C. Estas diferencias también pueden dar lugar a secado desigual de la masa de hojas, resultando en una calidad no óptima del producto final. Hacia el último día las curvas se homogenizan revelando la desaparición de las variaciones térmicas, esto se debe a que al estar seca las hojas, los peines permiten mayor paso de aire favoreciendo la uniformidad por mezclado del aire.

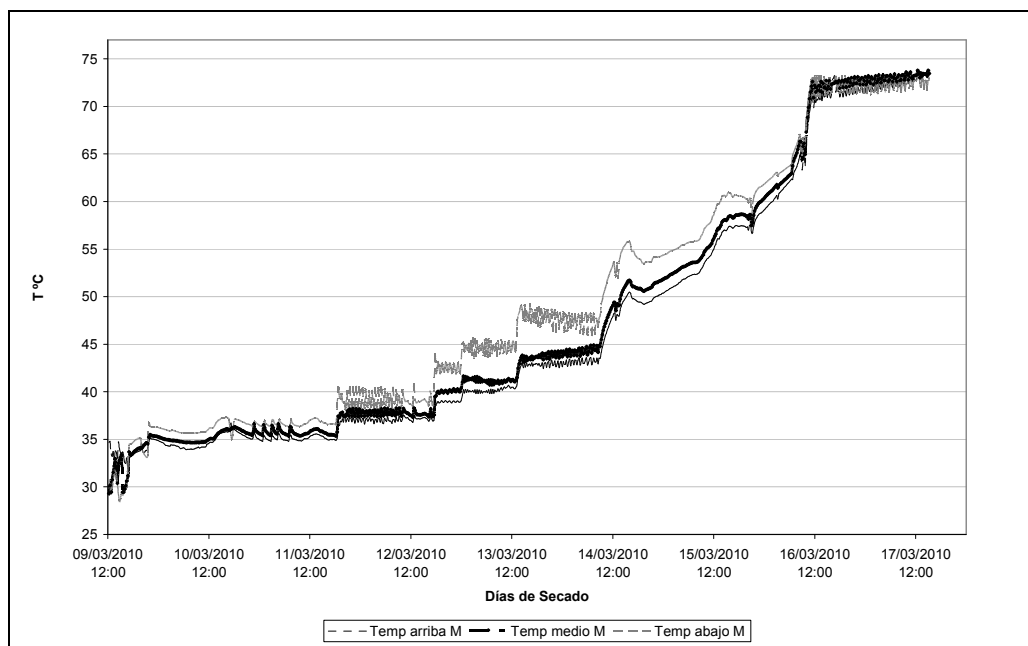


Figura 5: Mediciones térmicas en la parte media entre la entrada de aire caliente y la puerta de la cámara.

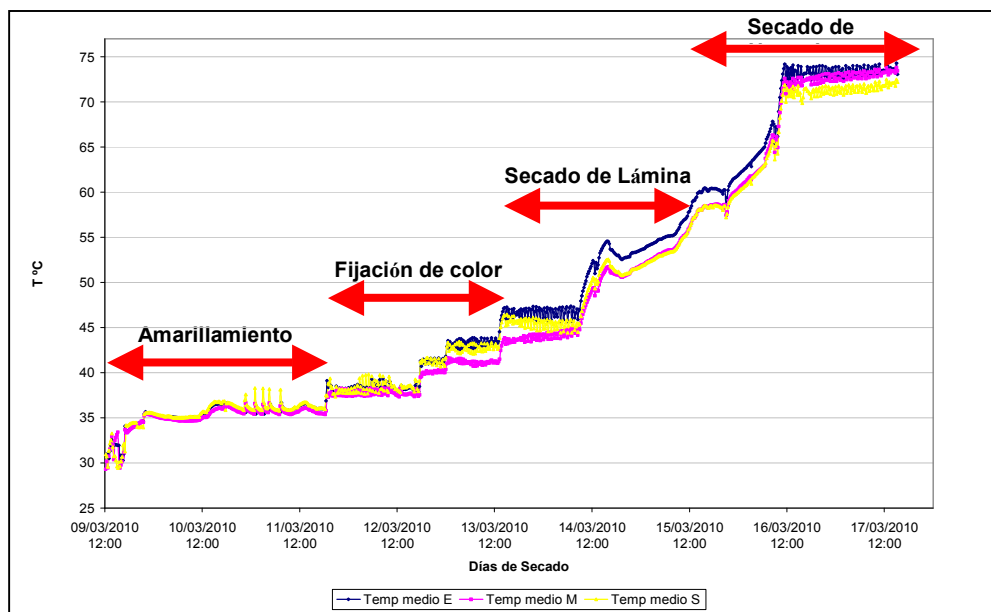


Figura 6- Delimitación de etapas del curado en curvas de temperaturas medidas

En todos los casos, pudo identificarse que los valores de temperatura acompañan a aquellos establecidos como curva de secado para el tabaco, pudiendo demarcarse claramente las etapas de este proceso. La Figura 6 muestra la variación en la temperatura del aire a lo largo de la cámara para el sector medio de la misma. Se observa cómo a partir del final de la etapa de fijación de color se producen crecientes diferencias de temperatura indicando posible secado despasejo de las hojas ubicadas cerca de la puerta de carga y descarga respecto de las que están en una posición de mayor proximidad al ingreso de aire caliente.

Resultado de la toma de imágenes termográficas

Las imágenes logradas con la cámara termográfica permiten observar la existencia de puentes térmicos y fenómenos de conducción hacia el exterior. Las coloraciones rojizas de estas fotografías representan los sectores de mayor temperatura. Al

estar la cámara dirigida en la Figura 7 hacia la bisagra y parte inferior central de la puerta, se demuestra la presencia de pérdidas, por hallarse estos sectores a una temperatura superior a la del resto de la puerta.

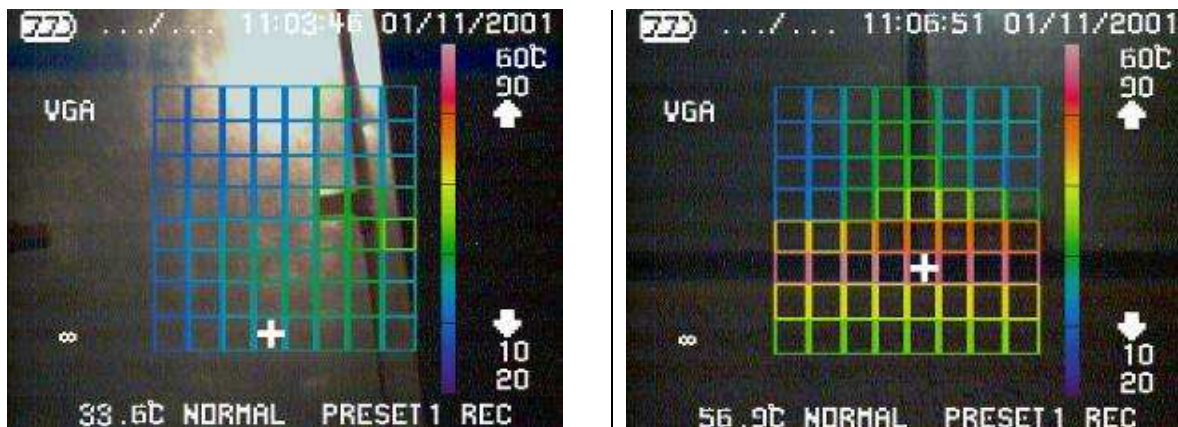


Figura 7 - Imagen de bisagra (izquierda) y parte inferior central de la puerta (derecha).

En un intento de conocer las temperaturas alcanzadas en el intercambiador de calor de la estufa, se registraron imágenes del mismo desde la ventana que permite el ingreso de aire externo. En función de la escala térmica de la cámara empleada, puede definirse un valor cercano a los 270°C (Figura 8). Luego, la imagen del quemador ubicado en la pared posterior, permite apreciar temperaturas del orden de los 60°C, muy superiores a las del ambiente circundante (Figura 8). Puede entenderse esto como una fuente adicional de pérdidas en el desempeño general de la estufa.

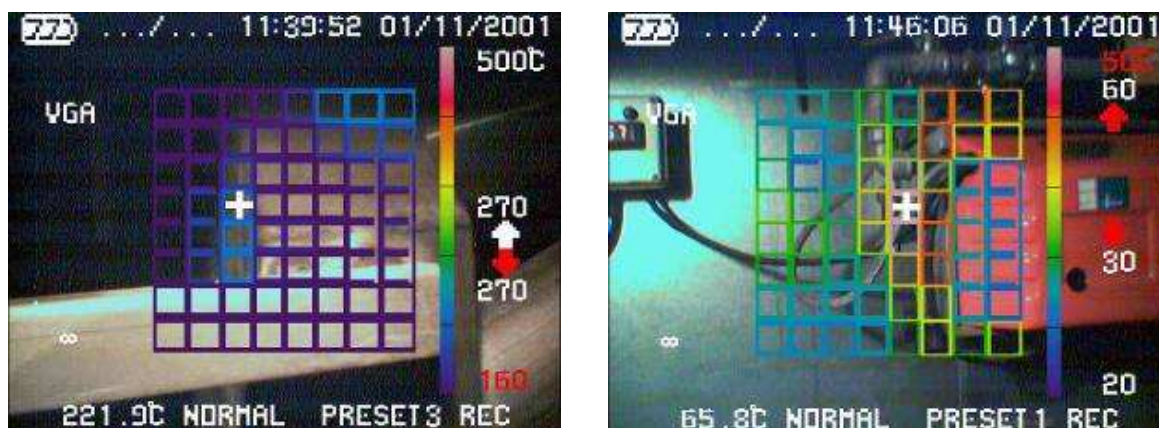


Figura 8- Interior del intercambiador (izquierda) controles del quemador (derecha).

Resultado de las mediciones de Flujo

El resultado más destacable y evidente al que se puede arribar implica la desigual distribución de los valores del flujo de aire, donde los máximos se concentran en la parte central inferior y los mínimos (con valores muy bajos) hacia la porción superior izquierda. A medida que disminuye el aire de recirculación, se corresponde con el aumento de la abertura de la toma de aire ambiente por la turbina, los mayores flujos se desplazan hacia el lado derecho y hacia abajo. Esta situación debe ser tomada en cuenta ya que puede darse lugar a secados desiguales o irregulares que terminarán afectando la calidad del producto. El valor medio de flujo másico obtenido para las mediciones realizadas se halla en el orden de 0.4m/s, con mínimos cercanos a 0.039m/s y máximos de 0.811m/s. Por otro lado, no pudieron apreciarse diferencias significativas en referencia a variaciones en el ingreso de aire externo dado por la variación en la apertura de la ventanilla trasera de la estufa (Figuras 9 a 13).

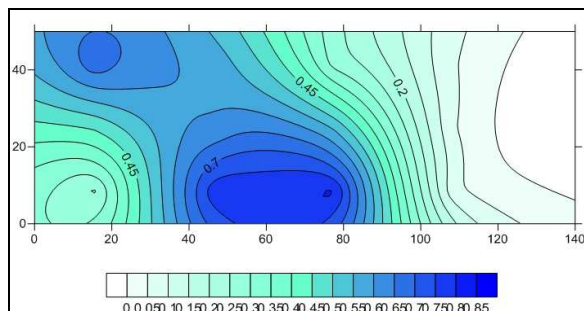


Figura 9 – Modelización del flujo medido en el ingreso de aire caliente (cerrado).

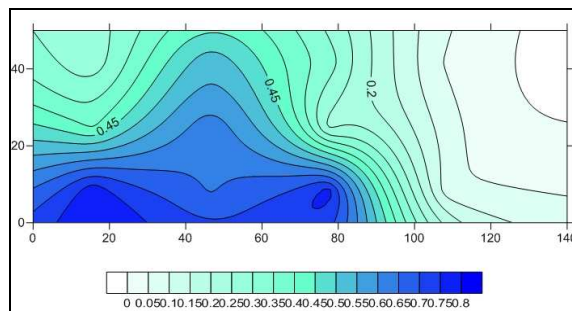


Figura 10 – Modelización del flujo medido en el ingreso de aire caliente (1cm de apertura).

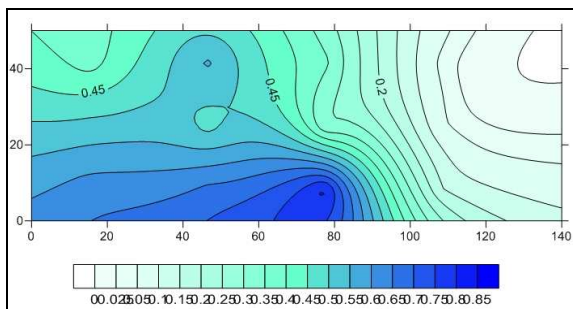


Figura 11 – Modelización del flujo medido en el ingreso de aire caliente (2cm de apertura).

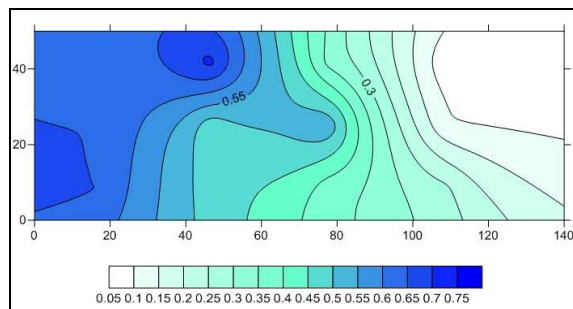


Figura 12 – Modelización del flujo medido en el ingreso de aire caliente (3cm de apertura).

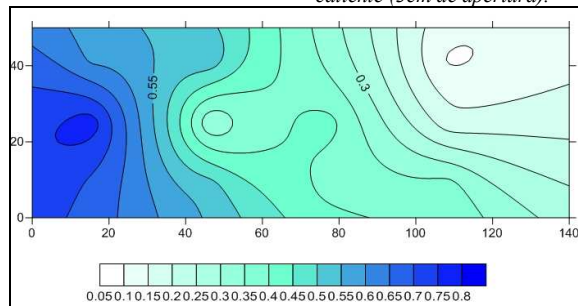


Figura 13 – Modelización del flujo medido en el ingreso de aire caliente (4cm de apertura).

Eficiencia energética de la estufa

Con intenciones de aproximarnos a un cálculo de la eficiencia energética que poseen las estufas de tabaco tipo bulk-curing, fueron empleados los datos obtenidos por Eckhardt (2002), en un ensayo realizado en la localidad de Perico, provincia de Jujuy. En este se aprecia que las mediciones del gas consumido por una estufa para completar el proceso de secado, es del orden de 1640,9 m³. Asumiendo que el poder calorífico medio para el gas natural en la República Argentina, y según consta en el ENARGAS, es de 9300kcal/m³; se obtuvo un valor energético de 63879908.8 kJ para ese nivel de consumo. Con la idea de contabilizar la totalidad de energía empleada en el proceso de curado, debió sumarse a este valor el correspondiente al consumo eléctrico del motor de 5.5HP que mueve la turbina de la estufa. Empleando las unidades de conversión de HP a W, multiplicando luego por el valor horario en segundos (3600), y por las horas totales que involucró el secado (164), se obtuvo un consumo de 2422411.2 kJ, para dar un total de 66302320 kJ.

El otro parámetro necesario comprende el cálculo de la energía efectivamente utilizada para el secado. Dicho valor surge de evaluar el volumen de agua evaporado de las hojas y el calor latente de vaporización para el agua contenida en tejidos vegetales. El valor empleado en los cálculos es de 2450kJ/kg, la diferencia en peso entre la carga de tabaco y la descarga permite conocer los kilos de agua que fueron evaporados durante el secado, siendo para este caso de 7906.05kg, puede ser estimado que se usaron para este caso 19369822.5kJ.

$$\eta = \frac{E^{\circ} \text{ empleada}}{E^{\circ} \text{ entregada}} = 0.2921 \quad (2)$$

La relación entre la cantidad de energía consumida durante el secado y la que efectivamente es utilizada para la evaporación del agua contenida en las hojas brinda una idea de la eficiencia de la estufa, sin embargo, es necesario realizar un balance térmico completo que incluya el cálculo total de las pérdidas detectadas.

Como primer paso en la evaluación se incluyen en la Figura 14 las curvas resultantes de los cálculos de pérdidas térmicas generadas a lo largo del techo y las paredes de la estufa. Dado los materiales de construcción empleados en los mismos, se utilizaron coeficientes convectivos de 30W/m² entre el interior de la cámara y la pared interna, y de 14W/m² entre la pared externa y el ambiente. Al considerar la aislación de lana de vidrio existente entre las chapas onduladas de las paredes se definió un coeficiente conductivo de 0.04 W/m °C (Duffie y Beckman, 2006), para un espesor de 0.05m. La superficie total de pérdida fue medida en un valor de 102.72 m².

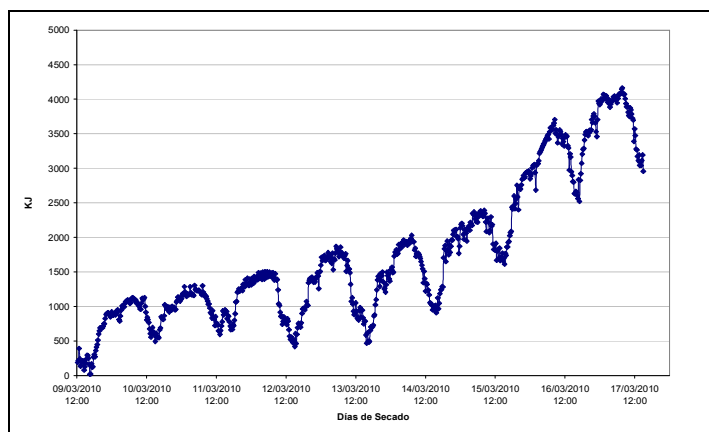


Figura 14: Pérdidas calculadas a través de techo y paredes de la estufa a lo largo del secado.

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación efectuada a una estufa de curado de tabaco tipo bulk-curing, puede verse claramente a partir de las mediciones de temperatura efectuadas y de las fotografías termográficas, la existencia de pérdidas térmicas durante su funcionamiento. Dichas pérdidas ocurren principalmente en la parte basal de las paredes, debido al material del cual están constituidas y la carencia de aislación. Por otro lado, otra fuente importante de pérdida corresponde al suelo de la estufa, el cual se encuentra totalmente desnudo, y generalmente húmedo convirtiéndose en otra masa para el proceso de secado. También pudo detectarse la existencia de puentes térmicos en la estructura del interior de la cámara que contribuyen a las pérdidas de calor por conducción, siendo mayormente notorias en las esquinas de la estufa.

Con respecto al flujo de ingreso de aire caliente a la cámara de secado, para el caso del dispositivo bajo análisis, puede verse una clara distribución irregular, siendo mayores los flujos hacia el sector izquierdo inferior. Esta situación puede generar problemas en la calidad final del tabaco al no producirse una homogenización adecuada para el secado de las hojas. En las imágenes termográficas captadas se aprecia la existencia de pérdidas en los burletes de la puerta de la estufa. Incorporar burletes para evitar pérdidas por infiltración, constituye una mejora a proponer. Otro aspecto a destacar comprende la pendiente dada entre la puerta y la porción trasera de la estufa, la cual no es suficiente como para impedir la pérdida de carga, no asegurando la conservación de la velocidad del aire. Esto también puede ser causante de curado desigual del tabaco.

Por último la eficiencia térmica puede ser definida como baja, pero se la considera susceptible de ser optimizada. Se entiende que los resultados aquí mostrados representan una primera aproximación a los cálculos para definir la eficiencia energética con que trabaja este dispositivo, quedando todavía por concluir la parte analítica incorporando la totalidad de las fuentes de pérdida identificadas y la elaboración de un balance de energía. Es a su vez el puntapié para encarar en un futuro proyectos de incorporación de energía solar al secado de tabaco.

REFERENCIAS

- Cornejo, M.; Fiore, I. 2004. El cultivo de tabaco en el Valle de Lerma – Salta. Hoja informativa N° 22. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa (UEEA) Valle de Lerma.
- Duffie J. A.; Beckman W. A. 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, 3° edition. Wiley Interscience, New York.
- Eckhardt, M. A. 2002. Las empresas transnacionales tabacaleras: Recuperación de una pasantía de pregrado universitario en una empresa en la provincia de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Fernández de Olivarri, D. 1990. El cultivo de los tabacos claros. Manual 1. Centro Regional Salta-Jujuy, Estación Experimental Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Salta, Argentina.
- Lopez Méndez, A. 2000. El curado del tabaco Virginia en España. Manual práctico para todos los agricultores. Enciclopedia básica del cultivo de tabaco.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la República Argentina (SAGPyA). Proyecto Tabaco, su compromiso ambiental y responsabilidad social. Argentina.
- United Nations, 2006. Energy for all. United Nations Commission on Sustainable Development, Sustainable Development in action. Background May 2006.

ABSTRACT

In the industrial field, the energy crisis requires that together with the use of alternative energy sources it must be incorporated the analysis and improvement of the equipment's efficiency. Even when partial substitution is possible, overall savings can be increased. In the province of Salta the tobacco industry is an activity of great economic and social impact. With an annual production of 40.000.000kg, most of this product is dried using natural gas. This paper presents the results of an energy assessment carried out on a bulk-curing oven, characteristic of those existing in the province. The measurements relating to temperature, humidity and flow, provide clues about areas for improvement to achieve greater efficiency. This is a first step in the process of raising the incorporation of solar thermal energy in the process.

Keywords: energy performance, assessment, tobacco oven.